



Sintesis Karbon Aktif dari Kulit Salak dengan Aktivasi K_2CO_3 sebagai Adsorben Larutan Zat Warna Metilen Biru

Arenst Andreas*, Aditya Putranto and Tjan Christine Sabatini

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri,
Universitas Katolik Parahyangan, Ciumbuleuit 94 Bandung 40141

*E-mail: arenst@unpar.ac.id

Abstract

The preparation of activated carbon from salacca peels was studied by chemical activation with potassium carbonate (K_2CO_3). Salacca peels were firstly impregnated at a fixed salacca peel to potassium carbonate ratio of 1:2 and fixed potassium carbonate concentration of 10 %-w. The impregnated salacca peel were then carbonized in an electrical furnace at temperature of 800 °C. Macroporous activated carbons with a high surface area of 888.9 m²/g were obtained. The activated carbon was tested in the adsorption of methylene blue (MB) from aqueous phase. The adsorption study was realized using batch experiments with synthetic MB solution with various initial concentration of 2, 4, 6, 8 and 10 ppm. The Freundlich, Langmuir, Temkin and Dubunin-Radushkevich adsorption models were used for mathematical description of the adsorption equilibrium, and it was found that the experimental data fitted very well to the Langmuir isotherm. Batch adsorption studies, based on the assumption of a pseudo-first-order, pseudo-second-order or intraparticle diffusion mechanism, showed that the kinetic data followed closely a pseudo-second-order rather than a pseudo-first-order mechanism. The adsorption capacity of salacca peel based activated carbons for the removal of MB was found to be 405 mg·g⁻¹. These results clearly indicated the salacca peel derived activated carbons as a potential adsorbent for removal of MB from aqueous solutions.

Keywords: *Salacca peel, Activated Carbons, Adsorption, Methylene Blue*

Pendahuluan

Adsorpsi adalah proses yang terjadi ketika suatu fluida (cairan maupun gas) terikat pada suatu padatan dan akhirnya membentuk lapisan tipis pada permukaan padatan tersebut (Worch, 2012). Kebanyakan padatan dapat digunakan untuk mengadsorpsi baik dari gas dan liquid, tetapi hanya zat-zat tertentu yang memiliki selektivitas dan kapasitas yang memenuhi yang dapat digunakan sebagai adsorben yang komersil (Seader, 2011). Keunggulan dari proses adsorpsi adalah penggunaannya umum karena dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang, misalnya dalam penyerapan gas beracun, penjernihan limbah, pengolahan air minum, dan lain-lain. Selain kelebihan, terdapat juga beberapa kelemahan dari proses adsorpsi, misalnya pada karbon aktif, yaitu proses pembuatannya harus dikarakterisasi sesuai tujuan penggunaannya (Nasser, 2004).

Karbon aktif pada awalnya berasal dari batubara dan merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu saat ini dikembangkan pembuatan karbon aktif dari biomassa, karena penggunaan biomassa sebagai karbon aktif terutama bertujuan untuk mengurangi biaya sintesis karbon aktif tersebut karena bahan baku yang digunakan biasanya adalah limbah yang tidak terpakai (Budinova, et al, 2006). Salah satu dari berbagai macam sumber biomassa adalah kulit salak. Tanaman salak dikenal pertama kali pada zaman penjajahan Belanda. Salak merupakan salah satu buah yang tumbuh di daratan Indonesia. Pusat produksi salak ini ada di provinsi Jawa Barat, Jawa Tengah, Bali, Yogyakarta, Sulawesi Selatan, dan Sumatera Utara. Jenis salak juga cukup beragam misalnya salak pondoh, salak bali, salak jawa, dan lain-lain. Konsumsi salak yang cukup besar menyebabkan limbah yang dihasilkan dari kulit salak juga banyak. Pada saat ini kulit salak sebagian besar hanya menjadi limbah karena belum banyak diolah untuk menghasilkan suatu produk yang berguna (Soetomo, 2001).

Salah satu cara yang mungkin dapat dilakukan untuk memanfaatkan kulit salak adalah dengan membuat adsorben. Adsorben adalah zat padat yang dapat menyerap partikel fluida dalam suatu proses adsorpsi (Seader, 2011). Kebanyakan padatan dapat digunakan untuk mengadsorpsi baik dari gas dan liquid, tetapi hanya zat-zat tertentu yang memiliki selektivitas dan kapasitas yang memenuhi yang dapat digunakan sebagai adsorben yang komersil (Seader, 2011). Sebelum karbon aktif dapat digunakan untuk proses adsorpsi, karbon aktif akan diberikan beberapa perlakuan. Perlakuan ini diberikan dengan tujuan untuk memaksimalkan fungsi karbon aktif sebagai adsorben.

Dalam penelitian ini, karbon aktif akan disintesis dengan menggunakan bahan baku kulit salak menggunakan aktivasi kimia K_2CO_3 yang dilanjutkan dengan proses karbonisasi. Adapun variasi percobaan yang digunakan pada



proses aktivasi adalah konsentrasi larutan K_2CO_3 dan rasio massa untuk melihat variabel proses tersebut pada karakteristik karbon aktif yang dihasilkan. Kemudian karbon aktif akan digunakan sebagai adsorben larutan zat warna metilen biru.

Metodologi

Kulit salak yang digunakan dicuci dengan air lalu dibilas menggunakan air distilasi dan dikeringkan dalam oven pada temperatur $110\text{ }^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Setelah kering, kulit salak yang digunakan ditumbuk dan diayak agar didapatkan ukuran $-100+200$ mesh. Serbuk kulit salak yang telah ditumbuk dan diayak kemudian akan diaktivasi menggunakan K_2CO_3 yang berupa padatan. Pertama-tama larutan K_2CO_3 dibuat dengan konsentrasi 10 % massa. Setelah itu dibuat perbandingan massa kulit salak dan massa K_2CO_3 yang akan digunakan yaitu 1:2. Campuran serbuk kulit salak dan larutan K_2CO_3 yang telah diaktivasi kemudian dimasukkan dalam oven dengan suhu $110\text{ }^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Setelah kering, kulit salak dan K_2CO_3 siap untuk dikarbonisasi.

Dari proses karbonisasi, serbuk kulit salak dicuci lagi menggunakan air distilasi hingga pH mencapai 6,5. Setelah itu serbuk kulit salak dikeringkan lagi di oven pada temperatur $110\text{ }^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Setelah proses ini kemudian dilakukan analisa BET untuk mengetahui karakteristik karbon aktif yang dihasilkan. Sampel karbon aktif yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan metode BET. Pada metode BET luas permukaan dapat dianalisis dengan mengalirkan gas N_2 . Karbon aktif akan mengadsorpsi gas N_2 tersebut.

Larutan warna metilen biru adalah larutan yang akan digunakan dalam proses adsorpsi. Dalam percobaan ini digunakan panjang gelombang 700 nm. Larutan metilen biru tersebut kemudian dibuat dalam beberapa konsentrasi dari 0 ppm sampai 60 ppm. Semua larutan dengan konsentrasi berbeda ini diukur %T pada panjang gelombang 700 nm. Kemudian dialurkan nilai A terhadap konsentrasi untuk membuat kurva standar yang akan digunakan dalam percobaan.

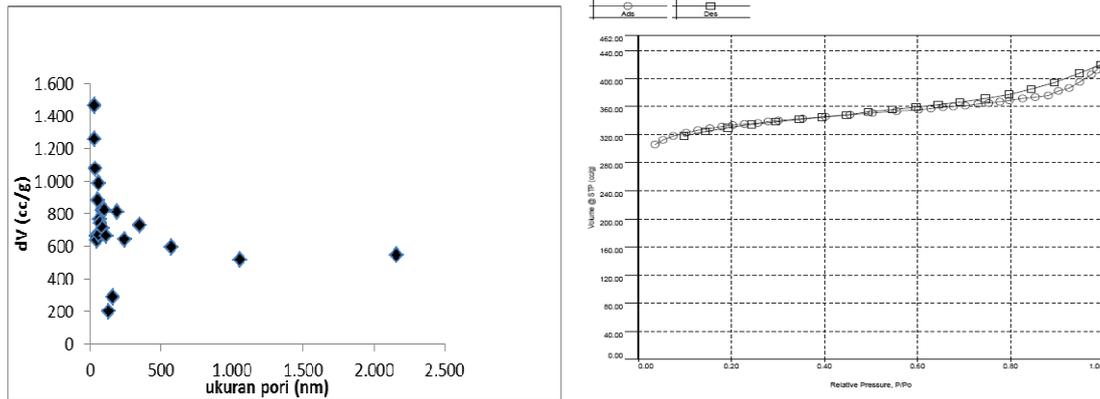
Proses adsorpsi dilakukan dengan menggunakan larutan warna metilen biru. Tahap awal yang dilakukan adalah mencampurkan karbon aktif sebanyak 0,01 gram dengan 250 ml larutan warna metilen biru yang telah disiapkan. Pengukuran adsorpsi dilakukan dengan mencampurkan dosis karbon aktif bubuk kulit salak sebesar 0,01 g dengan 250 ml larutan zat warna metilen biru yang telah dipersiapkan sebelumnya. Campuran bubuk kulit salak dan larutan zat warna ini di *shaker* dengan menggunakan *magnetic stirrer*. Konsentrasi larutan metilen biru setelah proses adsorpsi ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 700 nm untuk nantinya ditentukan nilai konsentrasi dari larutan metilen biru.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Karbon Aktif

Karbon aktif yang diaktivasi dengan rasio massa K_2CO_3 :kulit salak 1:2 memiliki luas permukaan $888.9\text{ m}^2/\text{g}$ dengan diameter pori sebesar 37.987 \AA . Distribusi ukuran pori dapat dilihat pada Gambar 1(a). Diameter pori yang diperoleh menunjukkan bahwa ukuran pori adalah mesopori dengan rentang diameter 2-50 \AA .

Pada material mesopori memperlihatkan adanya *hysteresis loop* yang disebabkan oleh kondensasi kapiler dalam mesopori. Pada Gambar 1(b) dapat dilihat bahwa pada saat $P/P_0 = 0$ gas yang teradsorpsi sangat sedikit. Dengan meningkatkan tekanan sampai $P/P_0 < 0,1$ mulai terjadi adsorpsi gas yang mulai menjenuhi monolayer. Jumlah gas yang teradsorpsi kecil tetapi masih lebih besar daripada material non pori. Ketika tekanan dinaikan, adsorpsi multilayer mulai terjadi tetapi jumlah yang teradsorpsi tidak terlalu banyak sehingga slope grafiknya kecil. Pada P/P_0 sekitar 0,7 terjadi interaksi antara molekul gas yang teradsorpsi pada dinding pori yang saling berhadapan. Pada tekanan yang lebih tinggi lagi, yaitu $P/P_0 = 1$ menyebabkan molekul gas memenuhi mesopori. Pada saat tekanan diturunkan kembali untuk desorpsi gas, kurva isothermal menunjukkan terjadinya *hysteresis loop* dimana jumlah gas yang terdesorpsi tidak sama dengan yang teradsorpsi di awal, pada tekanan yang sama jumlah gas yang tertinggal di permukaan material ketika desorpsi masih lebih banyak dibandingkan ketika adsorpsi. Dengan kata lain jumlah gas yang terdesorpsi lebih kecil daripada yang teradsorpsi. Hal ini disebabkan oleh kondensasi kapiler pada mesopori (Perry, 1997).



Gambar 1(a) Distribusi Ukuran Pori dan Gambar 1(b) Adsorpsi Desorpsi N₂

Adsorpsi Larutan Metilen Biru

Karbon aktif pada umumnya digunakan sebagai adsorben untuk proses adsorpsi, baik untuk adsorpsi cairan maupun gas. Proses adsorpsi ini sekaligus digunakan untuk mengukur secara kuantitatif kapasitas dari karbon aktif yang digunakan. Pada percobaan ini digunakan karbon aktif sebanyak 0,01 gram dengan konsentrasi 10 % dan volume larutan 250 ml pada rasio massa 1:2 untuk diuji dengan menggunakan larutan metilen biru pada berbagai konsentrasi. Luas permukaan yang dihasilkan dari variasi ini adalah 888,966 m²/g. Konsentrasi awal larutan warna metilen biru yang digunakan untuk proses adsorpsi adalah 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm, dan 50 ppm.

Dalam percobaan ini akan dihitung lima buah isothermal adsorpsi, yaitu Langmuir, Freundlich, Tempkin, dan Dubinin-Raduskevich

Persamaan Langmuir dan linearisasinya:

$$q_e = \frac{q_m K_a C_e}{1 + K_a C_e} \rightarrow \frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m K_a} \times \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (1)$$

Persamaan Freundlich dan linearisasinya:

$$q_e = K_f \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \rightarrow \log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2)$$

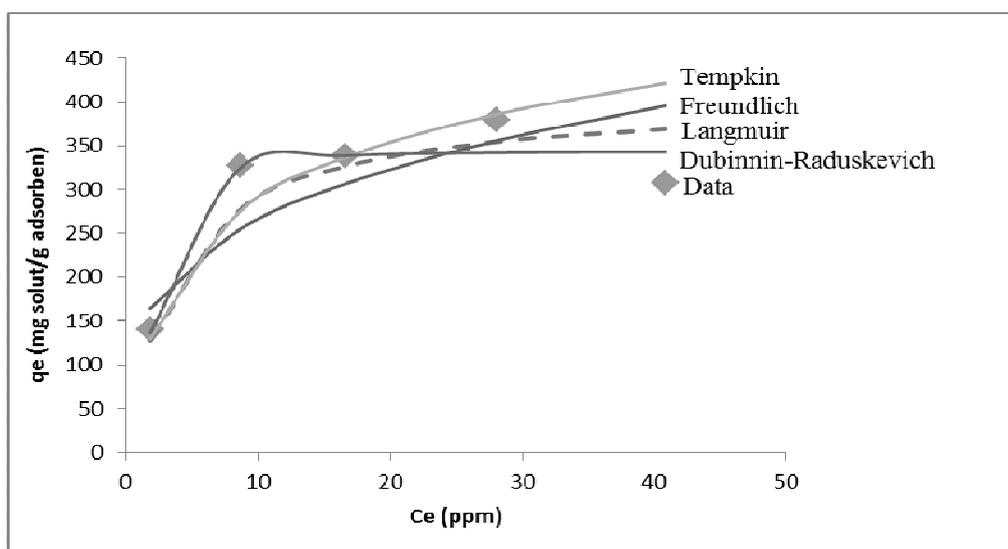
Persamaan Temkin dan linearisasinya:

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln(a \cdot C_e) \rightarrow q_e = \beta \ln a + \beta \ln C_e \quad (3) \text{ dengan } \beta = (RT) / b \quad (4)$$

Persamaan Dubinin-Raduskevich dan linearisasinya:

$$q_e = q_m \exp(-K \varepsilon^2) \rightarrow \ln q_e = \ln q_m - K \varepsilon^2 \quad (5) \text{ dengan } \varepsilon = RT \ln(1 + \frac{1}{C_s}) \quad (6) \text{ dan } E = \frac{1}{\sqrt{2K}} \quad (7)$$

Dari berbagai kurva isotherm adsorpsi pada Gambar 2 terlihat bahwa model isotherm adsorpsi yang paling cocok dengan data adalah Isotherm Langmuir dengan nilai R² = 0,97. Nilai K_L adalah 0,25 L/mg solut dan nilai q_m adalah 405 mg solut/gram karbon aktif. Pada Isotherm Langmuir terdapat asumsi yaitu adsorben memiliki permukaan yang homogen dan hanya dapat mengadsorpsi satu molekul untuk tiap molekul adsorbennya, sehingga setiap area permukaan memiliki energi ikatan yang sama, serta tidak ada interaksi antara molekul-molekul yang terserap. Isotherm Langmuir merupakan persamaan isotherm yang paling banyak digunakan. Dua parameter penting dalam Isotherm Langmuir adalah K_L yang menunjukkan konstanta kesetimbangan Langmuir, nilai K_L merupakan fungsi dari entalpi adsorpsi dan parameter kedua adalah q_m yang menunjukkan kapasitas adsorpsi maksimum untuk adsorbat. Berikut ini adalah kurva linierisasi Isotherm Langmuir, dengan q_e menyatakan kapasitas kesetimbangan (mg solut/gram karbon aktif) dan C_e yang menyatakan konsentrasi kesetimbangan (ppm).



Gambar 2 Kurva Isoterm Adsorpsi

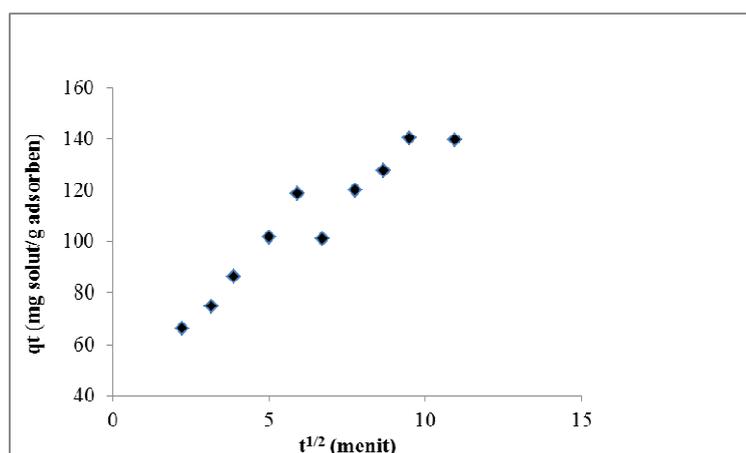
Dalam menentukan kapasitas adsorpsi dari suatu adsorben diperlukan waktu untuk mencapai kesetimbangan, yaitu waktu pada saat adsorben tidak mampu lagi menyerap adsorbat karena permukaan adsorben yang telah tertutup oleh adsorbat. Kinetika adsorpsi diperlukan untuk mengetahui profil konsentrasi larutan zat warna sebelum mencapai tahap kesetimbangan selama proses adsorpsi berlangsung. Model kinetika adsorpsi yang akan digunakan adalah pseudo orde satu, pseudo orde dua, dan *intraparticle diffusion*.

Dari hasil yang diperoleh (Tabel 3) pseudo orde dua lebih cocok dengan data yang diperoleh. Nilai K pada pseudo orde menunjukkan laju adsorpsi dari metilen biru. Semakin besar konsentrasi larutan warna metilen biru yang digunakan akan semakin besar cepat juga laju adsorpsi. Hal ini dikarenakan semakin besar konsentrasi maka gaya pendorong untuk proses adsorpsi akan semakin besar. Hasil yang diperoleh pada konsentrasi 30, 40, dan 50 ppm sudah sesuai dengan teori karena laju adsorpsi bergantung dari konsentrasi, konsentrasi merupakan gaya pendorong untuk proses adsorpsi. Sementara pada konsentrasi 10 dan 20 ppm justru laju adsorpsi lebih besar dibandingkan dengan laju adsorpsi pada konsentrasi 30, 40, dan 50 ppm. Hal ini mungkin dikarenakan sifat metilen biru adalah basa dan karbon aktif yang digunakan dalam penelitian ini juga diaktivasi dengan kalium karbonat yang sifatnya adalah basa, jadi pada saat konsentrasi rendah metilen biru yang terkandung masih sedikit sedangkan air pelarutnya lebih banyak, hal ini membuat metilen biru mendekati pH normal dan bukan basa. Hal inilah yang membuat laju adsorpsi dapat lebih besar daripada larutan warna metilen biru dengan konsentrasi yang tinggi.

Tabel 3 Perbandingan Pseudo Orde Satu dan Pseudo Orde Dua

	Konsentrasi	10 ppm	20 ppm	30 ppm	40 ppm	50 ppm
Pseudo Orde Satu	q_{e1} (mg solute/g karbon aktif)	90,427	179,22	158,234	149,692	150,591
	K_1 (1/menit)	0,027	0,024	0,008982	0,00736	0,089
	R^2	0,857	0,922	0,636	0,563	0,942
Pseudo Orde Dua	q_{e2} (mg solute/ g karbon aktif)	151,515	344,827	357,142	384,615	303,03
	K_2 (g/(mg solute. menit)) x 10^4	5,687	3,103	1,65	1,69	19,4
	R^2	0,985	0,998	0,99	0,99	0,999

Model ketiga yang digunakan untuk mengetahui kinetika adsorpsi adalah model *intraparticle diffusion*. Model ini digunakan untuk mengetahui mekanisme proses adsorpsi. Proses adsorpsi terdiri dari beberapa tahap diantaranya pergerakan partikel dari luar adsorben ke permukaan adsorben dan kemudian diikuti oleh difusi molekul ke dalam pori. Difusi intrapartikel umumnya merupakan proses yang lambat dan dapat dianggap sebagai tahap penentu laju dalam proses adsorpsi (Ho et al., 2000).



Gambar 3 Kurva Isoterm Adsorpsi *Intraparticle Diffusion* 10 ppm

Pada Gambar 3 menunjukkan adanya variasi gradien dan hal ini menunjukkan bahwa difusi intrapartikel bukan satu-satunya tahap penentu laju dalam proses adsorpsi. Kurva dengan gradien yang lebih besar menggambarkan proses adsorpsi yang berlangsung lebih cepat. Proses ini terjadi pada awal proses adsorpsi dan kemungkinan menggambarkan proses adsorpsi yang dikendalikan oleh pergerakan molekul ke permukaan padatan adsorben. Kurva dengan gradien lebih kecil menggambarkan proses yang berlangsung lebih lambat. Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa proses adsorpsi dipengaruhi oleh difusi intrapartikel. Setelah itu lama – kelamaan grafik menjadi tidak linier lagi. Hal ini menunjukkan pengaruh difusi intrapartikel mulai berkurang dan muncul pengaruh dari *surface diffusion*.

Kesimpulan

Karbon aktif yang digunakan adalah karbon aktif dengan konsentrasi 10 % dan rasio massa 1:2 yang mempunyai luas permukaan 888,97 m²/g dan perolehannya 0,98 g dari 4 g kulit salak. Kapasitas adsorpsi semakin besar untuk konsentrasi awal metilen biru yang semakin besar juga. Model isoterm adsorpsi yang paling cocok dengan data adalah Isoterm Langmuir dengan kapasitas maksimum 405 mg solut/g adsorben. Model kinetika adsorpsi yang paling cocok dengan data percobaan adalah pseudo orde dua untuk semua variasi konsentrasi awal metilen biru.

Daftar Notasi

- C = konsentrasi larutan metilen biru tiap saat (ppm)
- C_o = konsentrasi awal larutan metilen biru (ppm)
- C_e = konsentrasi larutan metilen biru saat setimbang (ppm)
- q_t = Konsentrasi adsorbat pada permukaan adsorben pada setiap waktu (mg/g)
- q_m = kapasitas maksimum adsorben (mg/g)
- q_e = kapasitas adsorben saat setimbang (mg/g)
- n = konstanta Freundlich



Daftar Pustaka

- Ahmed El Nembr, O.A., Ola Abdelwahab, Amany El-Sikaily, Azza Khaled, (2009), *Removal of direct blue-86 from aqueous solution by new activated carbon developed from orange peel*. Journal of Hazardous Materials, 161, pp. 102-110
- Bansal, Roop Chand and Goyal, Meenakshi, *Activated Carbon Adsorption*, Taylor & Francis Group, Boca Raton, pp. 67-122.
- Budinova, E. Ekinci, F. Yardim, A. Grimm, E. Björnbohm, V. Minkova, M. Goranova (2006), *Characterization and Application of Activated Carbon Produced by H₃PO₄ and Water Vapor Activation*, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey
- Girgis, Bardie S, Abdel-Nasser A. El-Hendawy, (2001), *Porosity Development in Activated Carbons Obtained from Date Pits under Chemical Activation with Phosphoric Acid*, Cairo, Egypt
- Hayasi, Jun'ichi, et al, (2002), *Activated Carbon from Chickpea Husk by Chemical Activation with K₂CO₃: Preparation and Characterization*, Japan: Department of Chemical Engineering, Kansai University
- Hayasi, Jun'ichi, et al, (2002), *Preparing Activated Carbon from Various Nutshells by Chemical Activation with K₂CO₃*, Japan: Department of Chemical Engineering, Kansai University
- Ho, Y. S., J. C. Y. Ng., G. McKay. 2000. Kinetics of Pollutant Sorption by Biosorbent : Review. *Separation And Purification Methods*. Pp. 189 – 232.
- Marsh, Harry and Rodriguez-Reinoso, Francisco, (2006) *Activated Carbon*, Elsevier Science & Technology Books, pp. 322-331
- Mulyadi, Lucy dan Evandi Rahman, (2014), *Sintesis Karbon Aktif dari Kulit Jeruk sebagai Adsorben*, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia
- Perry, R.H., dan Green, D.W. (1997), *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. Seventh edition, McGraw-Hill
- Pertama Sari, Intan dan Nurul Widiastuti, (2010), *Adsorpsi Methylen Blue dengan Abu Dasar, PT.Ipmomi Probolinggo Jawa Timur dan Zeolit Berkarbon*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
- Rutven, Douglas M., (1984), *Principles of Adsorption and Adsorption Processes*, John Wiley & Sons, Inc, USA, pp. 2-29, 106-119
- Richard D. Noble, Patricia A. Terry, (2004), *Principles of Chemical Separations with Environmental Applications*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 184-195
- Shofa, (2012), *Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Baku Ampas Tebu Dengan aktivasi Kalium Hidroksida*, Universitas Indonesia, Jakarta, Indonesia
- Seader, J.D., Henley, E.J. and Roper Keith, (2011), *Separation Process Principles Chemical and Biochemical Operations*, edisi ketiga, John Wiley & Sons, Inc, USA, pp. 568-609
- Soetomo, Moch, H.A, (2001). *Teknik Bertanam Salak*. Sinar Baru Algesindo, Bandung
- Sudibandriyo, Mahmud, (2014), www.arangaktif.com/karakteristik-luas-permukaan-karbon-aktif-dari-ampas-tebu-dengan-aktivasi-kimia/ diakses Januari 2015
- Wijaya, Yaentaria Juli, et al, (2008), *Adsorpsi Zat Organik Nitrobenzene dari Larutan dengan Menggunakan Bubuk Daun Intaran*, Universitas Katolik Widya Mandala, Surabaya, Indonesia
- Thomas, W.J. and Crittenden, Barry, (1998), *Adsorption Technology & Design*, Elsevier Science & Technology Books, pp. 8-44
- Worch, Eckhard, (2011), *Adsorption Technology in Water Treatment*, Technical University Dresden, Germany





Lembar Tanya Jawab

Moderator : Rudy Agustriyanto (Universitas Surabaya)

Notulen : Wibiana W. N. (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Sri Hastutiningrum (AKPRIND, Yogyakarta)

Pertanyaan : Adakah spesifikasi kulit salak yang digunakan sebagai bahan baku dan apa pertimbangannya menggunakan menggunakan jenis itu?

Jawaban : Jenis kulit salak yang digunakan adalah salak pondoh karena mudah didapatkan di daerah Bandung.
2. Penanya : Viska (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)

Pertanyaan : Mengapa pada grafik distribusi ukuran pori terlihat turun terlebih dahulu kemudian naik? Apakah itu titik optimum?

Jawaban : Grafik tersebut menunjukkan diameter yang dianalisis bukan titik optimum. Dari percobaan hanya ingin melihat model manakah yang paling tepat, Langmuir atau Freundlich.

